



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA PLECHOVÉ SOUČÁSTI STŘÍHÁNÍM

THE MANUFACTURING OF SHEET METAL PART BY BLANKING TECHNOLOGY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ONDŘEJ ŽÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. EVA ŠMEHLÍKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2008

ABSTRAKT

ŽÁK Ondřej: Výroba plechové součásti stříháním

Projekt vypracovaný v rámci inženýrského studia oboru 2307 předkládá návrh výroba plechové součásti stříháním ocelového plechu 11 320. Na základě literární studie problematiky stříhání a výpočtu bylo navrženo postupové stříhadlo. Stříhadlo využívá normalizovaných komponent a je řešeno formou obvyklého stojánku upnutého na lisu LEN 25-C), s nominální střížnou silou 250 kN. Střížník a střížnice jsou vyrobeny ze slitinové nástrojové oceli třídy 19. tepelně zpracované podle výkresové dokumentace

Klíčová slova: Ocel 19 436, plošné tváření, stříhání

ABSTRACT

ŽÁK Ondřej: The manufacture of sheet metal part by blanking technology

The project elaborated in frame of engineering studies branch 2307.

The project elaborated in frame of bachelor studies in engineering technology the manufacture of sheet metal part by blanking technology from steel metal plate 11 320. Processual shearing was suggested on the basis of belles-lettres problem of blanking and calculation. Shearing use standardized component and is solved by form of usual rack close set on press LEN 25-C, with nominal ductile by force 250 kN. Blanking puch and blanking are made from 19 class alloyed instrumental steels, heat treated according to graphical documentation.

Keywords: Steel 19 436, blanking technology

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŽÁK, O. *Výroba plechové součásti stříháním*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Šmehlíková, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V dne 17.10.2008

.....
Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji ing. Evě Šmehlíkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové (bakalářské) práce.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

1. ÚVOD	7
2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ	13
3. ROZBOR STŘIŽNÉHO PROCESU	13
3.1. Průběh stříhání na lisovadlech	13
3.2. Vzhled střížné plochy	14
3.3. Střížná mezera a střížná vůle, stanovení střížné vůle	15
3.3.1. Stanovení velikosti střížné vůle	15
3.3.2. Kvalita povrchu stříhání	16
3.4. Přesnost povrchu při stříhání	17
3.5. Síly při stříhání a střížná práce	18
3.5.1. Střížná síla	18
3.5.2. Stírací a protlačovací síla	19
3.5.3. Práce při stříhání	20
3.5.4. Možnosti snížení střížné síly	21
3.5.5. Těžiště střížných sil	22
3.6. Nástřihový plán	23
3.6.1. Šířka pásu, velikost kroku, stanovení přepážek a mezer	24
3.7. Technologičnost konstrukce výstřížků	25
3.7.1. Základní pravidla technologičnosti	25
3.8. Střížný nástroj	28
3.8.1. Konstrukční části střížného nástroje	29
3.8.2. Stanovení rozměrů pracovních částí stříhadel	29
3.8.3. Materiály střížných nástrojů	32
4. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	33
4.1. Nástřihový plán zadání součásti	33
4.2. Návrh postupu stříhání	34
4.3. Výpočet a využití a spotřeby materiálu	35
4.4. Určení střížné síly	36
4.5. Stírací a protlačovací síla	38
4.6. Výpočet střížné práce	38
4.7. Stanovení velikosti střížné vůle	38
4.8. Výpočet těžiště střížných sil	39
4.10. Určení rozměru střížníku	40
4.11. Pevnostní výpočty	40
5. NÁVRH STROJE	41
6. POPIS A FUNKCE NÁSTROJE	42
7. TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	42
7.1 Technické zhodnocení	42

7.2 Ekonomické zhodnocení	42
7.2.1. Vstupní hodnoty	42
7.2.2. Náklady na materiál	43
7.2.3. Náklady na nástroje	43
7.2.4. Náklady na přímé mzdy	43
7.2.5. Náklady na výrobu jednoho kusu po dobu životnosti nástroje	44
7.3. Zhodnocení	44
8.ZÁVĚR	44
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratek	
Seznam příloh	

1. ÚVOD

Do oblasti strojírenské technologie, která se převážně zabývá výrobou a zpracováním kovů, můžeme zahrnout celou řadu činností počínaje výrobou kovů a jejich slitin až po zhotovení konečného výrobku. Tuto oblast lze rozdělit na několik směrů. A to na technologii slévárenství, tváření, obrábění, svařování a zpracování plastů. V této práci se vyskytují dvě technologie a to technologie obrábění a technologií tváření. Obrábění je značně využíváno, ale vzhledem ke svému „malému“ využití materiálu cca 40% oproti tvářecím operacím, je v tomto směru dosti neefektivní.

Technologií tváření se zhotovují polotovary určené k dalšímu zpracování tvářením, obráběním, atd., ale i hotové výrobky rozmanitých tvarů a rozměrů. Tváření má ve strojírenské výrobě velký význam. Jedná se o ekonomicky efektivní technologii, která se převážně uplatňuje v sériové a hromadné výrobě. V současné době se více jak 90% výrobků zhotovuje některou z technologií tváření.

Technologii tváření je možné rozdělit do dvou základních oblastí, a to tváření plošné a tváření objemové.

Plošné tváření zahrnuje operace stříhání – *prostřihování, děrování, nastřihování, přestřihování, ostřihování, přesné stříhání*, ohýbání – *V ohyb, U ohyb, profilování, lemování*, tažení – *hluboké, kovotlačení, vypínání, protahování, přetahování* a tvarování – *rovnání, zužování, rozšiřování*

Objemové tváření se uskutečňuje buď pod rekrytalizační teplotou tzv. tváření za studena a zahrnuje operace: ražení, pěchování, protlačování. Tváření nad rekrytalizační teplotou tzv. tváření za tepla zahrnuje: volné kování, zápusťkové kování.

Technologii stříhání se rozumí postupné oddělování částic materiálu stříhadly podél křivky stříhu. Křivku stříhu tvoří obvod výstřižku, střižníku či střižnice. Stříhání se dá dále dělit na: děrování, přistřihování, vystřihování, ostřihování, nastřihování, přesné stříhání, prostřihování.

Výstřižek má mít takový tvar, aby se dal zhotovit při nejnižších výrobních nákladech a přitom splňoval svoji funkci. O míře technologičnosti se lze přesvědčit porovnáním konstrukčních alternativ. Cílem této práce je zhodnocení současné technologie výroby, návrh nové technologie výroby součásti a vypracování postupu výroby.

SEZNAM ZDROJŮ A LITERATURY

- [1] Kolektiv autorů Lisování. SNTL Nakladatelství technické literatury , v roce 1971, Stran 542. DT 621.979
- [2] FOREJT, M. Teorie tváření a tvářecí nástroje. Učební texty FS VUT Brno. První vydání. Nakladatel VUT. Srpen 1991, stran 187. ISBN 80 – 214 – 0554 – X
- [3] NOVOTNÝ, J., LANGER Z. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. Vydalo SNTL v roce 1980, Stran 213, DT 621.96
- [4] Technická universita v Liberci
http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm ,
klíčová slova: technologie tváření
- [5] DVOŘÁK, M. , GAJDOŠ, F a NOVOTNÝ, K. Technologie tváření- Plošné tváření. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojní. 1. vyd. ISBN 80-214-0771-7 Brno, WELCO, spol s.r.o.
- [6] ROMANOVSKIJ, V.P. Příručka pro lisování za studena, SNTL 1959, DT 621.986
- [7] POKORNÝ, P. Technická universita v Liberci Výrobní stroje II, mechanické lisy, <http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/info.htm> , klíčová slova: Technická universita v Liberci
- [8] VUT BRNO FSI – studijní opory – NOVOTNÝ, ZEMČÍK, Přípravky a nástroje, <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory.htm> , klíčová slova: opory výuky
- [9] NOVOTNÝ, K. Výrobní stroje a zařízení, část tvářecí stroje.
<http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory.htm> , klíčová slova: tvářecí stroje

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	Střížná práce	[J]
B	Délka výstřížku	[mm]
C_{od1}	Cena odpadu	[Kč]
C_{pl}	Cena plechu za rok	[Kč]
c	Součinitel o velikosti (0,005 – 0,035)	[-]
E	Modul pružnosti	[MPa]
F	Přepážka odpadu	[mm]
F_b	Síla na klice	[N]
F_d	Střížná síla daného střížníku	[N]
F_j	Jmenovitá síla	[N]
F_s	Střížná síla	[N]
F_{smax}	Maximální síla potřebná k prostřížení materiálu	[N]
F_t	Tečná síla	[N]
F_u	Stírací síla	[N]
F_v	Protlačovací síla	[N]
H	Sevření lisu určené katalogem	[mm]
H_s	Tloušťka střížnice	[mm]
H_v	Výsledné sevření lisu	[mm]
h	Hloubka plastického přístřihu	[mm]
I	Moment setrvačnosti	[N]
JM	Jednicové mzdy	[Kč]
JR	Jmenovitý rozměr	[mm]
K	Délka kroku	[mm]
k	Koeficient závislý na tloušťce materiálu	[-]
k_{eu}	Koeficient závislý na tloušťce materiálu	[-]
k_{ev}	Koeficient závislý na tloušťce materiálu	[-]
l_k	Kritická délka střížníku	[mm]
M	Šířka pásu	[mm]
m	Hmotnost tabule	[kg]
m_{cl}	Hmotnost tabulí za rok	[kg]
m_{ol}	Hmotnost odpadu za rok	[kg]
m_{ot}	Hmotnost odpadu tabule	[kg]
N	Rozdíl cen nástrojů	[Kč]
N_a	Cena přípravků a nástrojů	[Kč]
N_m	Rozdíl nákladů	[Kč]

N_{mat}	Náklady na materiál	[Kč]
n	Zvyšující koeficient	[-]
n_p	Počet výstřížků v neodlehčené části stříhadla	[ks]
P	Přípustná míra opotřebení	[mm]
P_p	Počet pásů z tabule	[ks]
P_{tab}	Počet tabulí za rok	[ks]
P_v	Počet výstřížků	[ks]
P_{vt}	Počet výstřížků z tabule	[ks]
p_b	Velikost přestavení beranu	[mm]
Q_{kr}	Kritické množství kusů	[ks]
RAD	Rozměr střížníku při děrování	[mm]
RAV	Rozměr střížníku při vystřihování	[mm]
R_a	Drsnost povrchu	[-]
R_m	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
S	Střížná plocha	[mm ²]
S_{op}	Celková plocha výstřížku	[mm ²]
S_p	Plocha pásu plechu	[mm ²]
S_{vv}	Plocha výstřížků z tabule	[mm ²]
TA	Výrobní tolerance střížníku	[mm]
TS	Tolerance jmenovitého rozměru	[mm]
t	Tloušťka stříhaného materiálu	[mm]
$V_{yuž}$	Využití tabule	[%]
v	Velikost střížné vůle	[mm]
x	Pracovní dráha lisu	[mm]
Z	Zdvih lisu	[mm]
ZN	Zpracovatelské náklady	[Kč]
Zs	Zisk	[Kč]
σ_p	Přetvárný odpor	[MPa]
σ_1	Napětí	[MPa]
χ	Koeficient	[-]
λ	Součinitel zaplnění v diagramu F_s-h	[-]
τ_s	Pevnost ve stříhu	[MPa]
σ	Namáhání na tlak	[MPa]
σ_{Dov}	Dovolené namáhání na tlak	[MPa]
μ	Součinitel bezpečnosti	[-]
φ	Úhel kliky před dolní úvratí	[°]
u	Skosení střížné hrany	[°]

SEZNAM PŘÍLOH

2. SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÍ

Daná součást „díl nákladního autíčka – dětské hračky“ nebyla doposud vyráběna. Po zhodnocení geometrického tvaru, velikosti výrobní série a předpokládaného způsobu použití se jedná o zcela nový návrh technologie výroby této součásti.

3. ROZBOR STŘIŽNÉHO PROCESU

Stříhání se řadí mezi technologie plošného tváření. U toho způsobu tváření dochází však dochází v konečné fázi k porušení materiálu – lomem v ohnisku deformace. Vlastní plastické přetvoření je sice průvodním jevem, ale zároveň nežádoucím. Materiál se postupně nebo současně odděluje podél křivky stříhu dané relativním pohybem stříhacích břitů ,které vytváří potřebné napětí střížné (smykové) napětí.

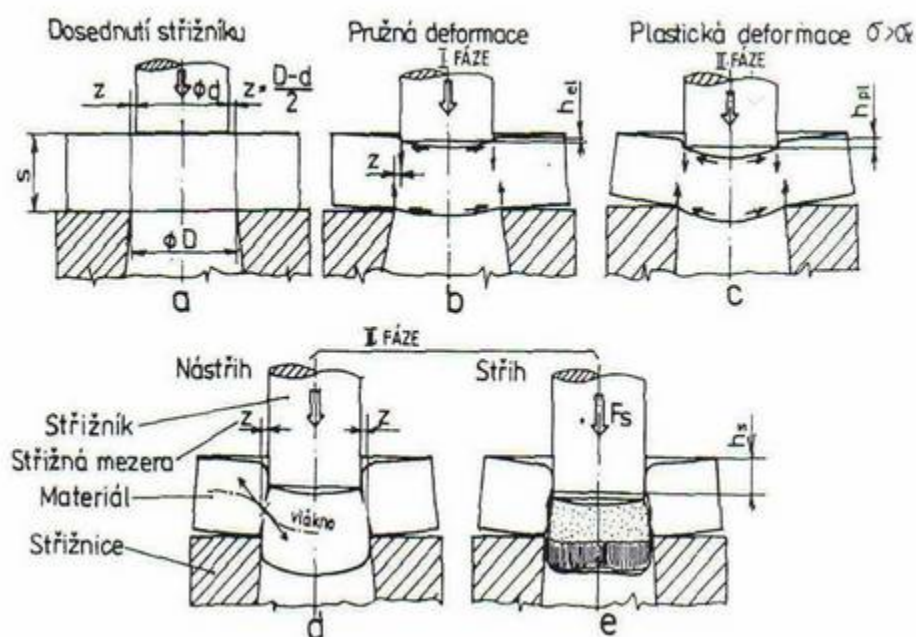
3.1. Průběh stříhání na lisovadlech [1]

Ke stříhání nebo děrování ve střížných nástrojích dochází dosednutím střížníku na stříhaný materiál a končí úplným oddělením kusu materiálu. Celý průběh lze rozdělit do tří fází. V první fázi, při dosedání střížníku na materiál, tlačí střížník na materiál a vytváří napětí menší než je mez pružnosti. Dochází zde jen k pružným deformacím. Hloubka vniku střížníku do materiálu závisí na jeho druhu a tepelném zpracování. Bývá obvykle kolem 5-8% jeho tloušťky. Vznikem silových dvojic v rovinách kolmých ke střížným plochám se materiál mezi střížníkem a střížnicí ohýbá. Přitom vzniká na stříhaném materiálu zaoblení – na straně střížníku vtažením a na straně střížnice vytlačením materiálu (viz obr.1).

Ve druhé fázi vznikne ve stříhaném materiálu napětí větší než je jeho mez kluzu. Přitom dojde k trvalé deformaci stříhaného materiálu. Hloubka vniku střížníku do plechu je závislá na jeho mechanických vlastnostech a pohybuje se mezi 10-30% jeho tloušťky. Na konci této fáze dosáhne napětí meze pevnosti ve stříhu.

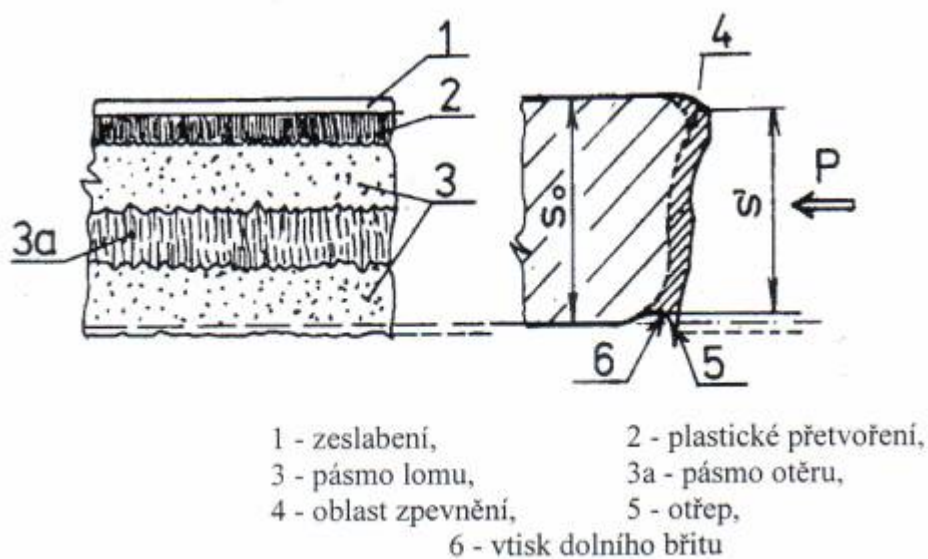
V poslední fázi je materiál namáhán napětím nad mezí pevnosti ve stříhu. Hloubka vniku střížníku je zde 10-60% tloušťky plechu. Je závislá na velikosti střížné mezery a druhu materiálu.. Nejprve vznikají mikroskopické trhliny. Ty se postupně šíří a zvětšují směrem od střížných hran nástroje. rychlost šíření trhlin je závislá na vlastnostech materiálu a jejich průběh na velikosti střížné mezery. Tvrdé a křehké materiály se oddělují okamžitě, měkké a houževnaté pomalu (na střížné ploše můžeme lépe pozorovat oblast plastických deformací).

Aby došlo k úplnému oddělení materiálu, musí střížník proniknout materiálem v celé jeho tloušťce. Průběh fází je znázorněn na obr.1.



Obr. 1 Průběh stříhání s normální střížnou vůlí [2]

3.2. Vzhled střížné plochy



Obr. 2. Vzhled střížné plochy při normální střížné vůli [3]

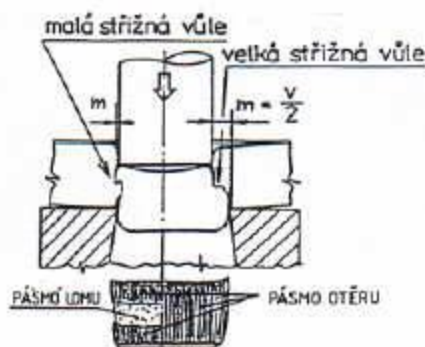
- 1- zeslabení: pásmo pružné deformace vzniklé při vnikání střížníku do materiálu
- 2- plastické přetvoření: hladká a lesklá část střížné plochy je tvořena plastickou deformací – plastickým stříhem
- 3- pásmo lomu: probíhá samovolné oddělování stříhané části pod smykovým napětím
- 3a- pásmo otěru: vzniká při průchodu střížníku materiálem
- 4- oblast zpevnění: vzniká při stlačování materiálu střížníkem

3.3. Střížná mezera a střížná vůle, stanovení střížné vůle [4]

Střížná vůle je dána rozdílem mezi rozměrem střížníku a odpovídajícího otvoru ve střížnici. Rozdíl z jedné strany dává střížnou mezeru.

Střížná mezera je nutná aby nedošlo ke kolizi mezi jednotlivými částmi nástroje. Dále ovlivňuje kvalitu střížné plochy, přesnost výrobku, trvanlivost nástroje, množství spotřebované energie. Střížná síla se s velikostí střížné vůle téměř nemění, ovšem výrazně se mění práce, která může narůst až o 30%-40%.

Při normální střížné vůli se trhlínky šířící v materiálu setkávají a vytvoří střížnou plochu bez otřepů. Pokud je vůle příliš malá nebo velká trhlínky se nesetkají a vytvoří nerovný povrch. To samozřejmě ovlivňuje i rozměr a tvar součásti.



Obr.3 Velikost střížné vůle [2]

Při normální vůli se nástřihy od střížníku a střížnice setkají a vytvoří v stříhaném průřezu jednu plochu bez otřepů. Při malé nebo naopak velké vůli se nástřihy nesetkají utvoří nerovný povrch v ploše stříhu. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu v okamžiku jeho úplného oddělení bývá 10 až 60 % jeho tloušťky v závislosti na druhu stříhaného materiálu a nástroje.

3.3.1. Stanovení velikosti střížné vůle [3],[4],[6]

Velikost střížné mezery závisí na několika činitelích, nejvíce na druhu materiálu a jeho tloušťce. Je možno ji stanovit početně, z tabulek nebo jako % z tloušťky plechu.

V praxi je možné zvolit vhodnou velikost střížné vůle z tabulek pro různé tloušťky plechů bez zřetele na druhu jejich materiálů. Příklad je uveden v tab. 1

Tloušťka materiálu t mm	Počáteční vůle		Tloušťka materiálu t mm	Počáteční vůle	
	nejmenší	největší		nejmenší	největší
0,3	0,02	0,04	3	0,24	0,33
0,5	0,03	0,06	3,5	0,32	0,42
0,8	0,05	0,08	4	0,36	0,48
1	0,06	0,1	4,5	0,4	0,53
1,2	0,08	0,12	5	0,45	0,6
1,5	0,1	0,15	6	0,6	0,75
1,8	0,12	0,18	7	0,7	0,9
2	0,14	0,2	8	0,85	1
2,2	0,18	0,25	9	1	1,2
2,5	0,2	0,28	10	1,2	1,5
2,8	0,22	0,3	12	1,4	1,8

Tab. 1 Mezní hodnoty počátečních vůlí [6]

vztah pro výpočet střížné mezery

$$\text{Pro plechy do } t \leq 3 \text{ mm:} \quad v = 2 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}] \quad (1)$$

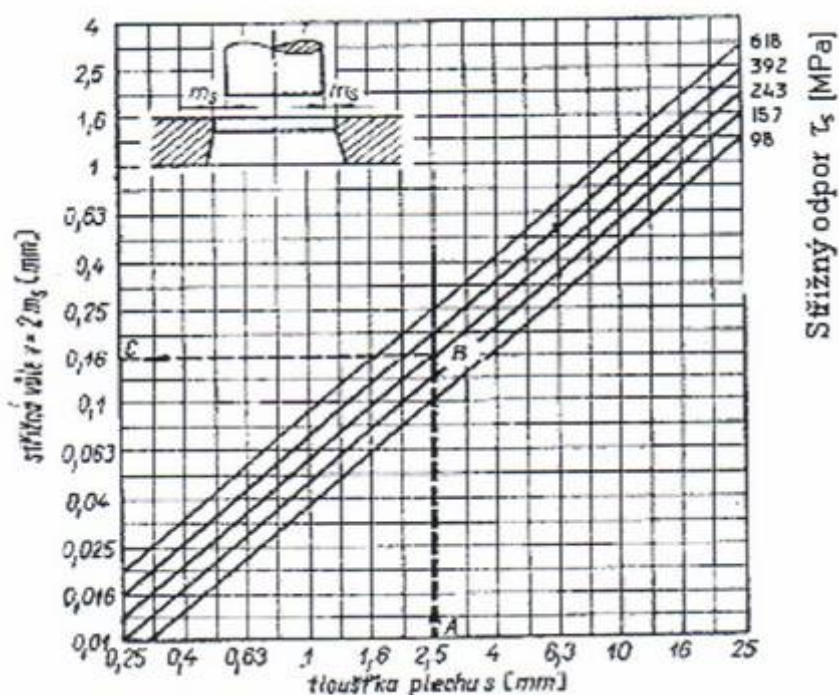
$$\text{Pro plechy do } t \geq 3 \text{ mm:} \quad v = 2 \cdot (1,5t - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

Kde t je tloušťka plechu,

τ_s pevnost ve stříhu

c součinitel, jehož velikost se volí v rozmezí 0,005 až 0,035. Nižší hodnoty volíme, chceme-li získat lepší střížnou plochu, vyšší hodnoty součinitele umožní dosáhnout minimální střížné síly.

Dále je ještě možné určit střížnou vůli podle nomogramů, ve kterých jsou uvedeny absolutní velikosti střížných vůlí pro určitý druh a tloušťku stříhaného materiálu charakterizovaného střížným odporem τ_s .

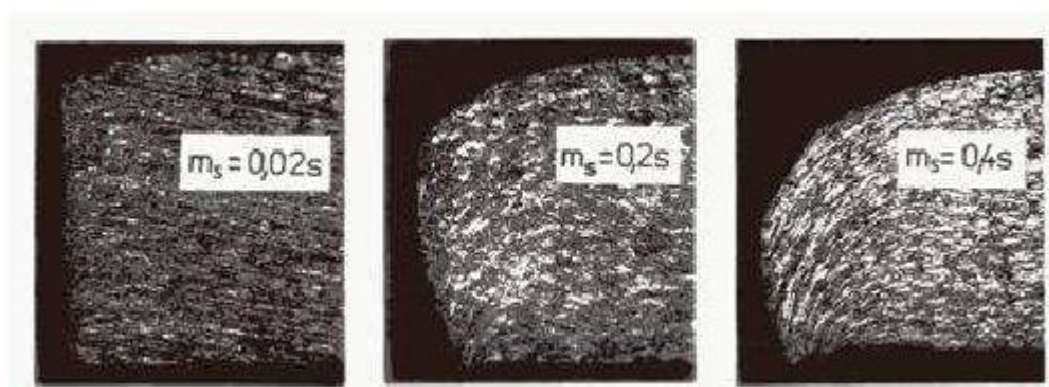


Obr. 4 Nomogram pro stanovení střížné vůle [5]

3.3.2. Kvalita povrchu stříhání [2],[4]

Střížná vůle má velký vliv na kvalitu střížné plochy a rozměr budoucího výstřížku. Velikost střížné vůle se volí podle tloušťky a druhu materiálu.

Při normální střížné vůli se nástřihy od obou střížných hran prvků setkají a vytvoří ve stříhaném průřezu jednu plochu bez ostřin. Při malé nebo velké střížné vůli se nástřihy nesetkají a vytvoří nerovný povrch v ploše stříhu. Při malé střížné vůli je materiál mezi střížnými hranami deformován a znovu stříhán. Na obrázku 5 je znázorněna kvalita střížné plochy pro různé velikosti střížných vůlí.



Obr. 5 Kvalita střížné plochy pro různou velikost střížné mezery [4]

3.4. Přesnost povrchu při stříhání [3]

Každou metodou výroby lze dosahovat určitých přesností. Hlavním ukazatelem přesnosti je budoucí výrobek (výstřížek). Podle něj navrhujeme způsob, jakým bude vyroben. Přesnost je obvykle požadována v těchto stupních.

nižší přesnosti IT14, IT15, IT16

střední přesnosti IT11, 12

vyšší přesnosti IT6, IT7, IT8, IT9

Pro to abychom součást dokázali vyrobit s požadovanou tolerancí, musí mít nástroj menší stupeň přesnosti. Obvyklé IT nástrojů se volí podle tab. 2

Základní výrobní tolerance IT vystřihovaného výrobku	8 až 9	10	11	12	13	14	15
Základní výrobní tolerance IT střížníku a střížnice	5 až 6	6 až 7	7 až 8	8 až 9	10	11	12

Tab.2 Závislost přesnosti vystřihovaných součástí na přesnosti nástroje [3]

Střížná vůle také ovlivňuje přesnost nástroje. Velikost střížné vůle musí být větší než výrobní tolerance nástrojů, jinak ji nemůžeme předepsat. Závislost mezi tolerancí, velikostí nástroje a vůlí je uvedena v tabulce 3.

Střížná vůle v(mm)	Rozměr nástroje													
	1 až 3	3 až 6	6 až 10	10 až 18	18 až 30	30 až 50	50 až 80	80 až 120	120 až 180	180 až 260	260 až 360	360 až 500		
0,005 až 0,003	+ D IT 6 nebo -d IT 6 I													
0,003 až 0,02	+ D IT 7 nebo -d IT 7 II													
0,02 až 0,05	+ D IT 7 - IT 7 III													
0,05 až 0,15	+ D IT 7 - IT 7 III													
0,15 až 0,2	+ D IT 7 - IT 7 III													
0,2 až 0,3	+ D IT 8 - D IT 8 IV													
0,3 až 0,6	+ D IT 8 - D IT 8 IV													
0,6 až 0,2	+ D IT 8 - D IT 8 IV													
nad 2	+ D IT 8 - D IT 8 IV													

Tab. 3 Závislost tolerance nástrojů na velikosti nástroje [3]

Pro stříhání připadají v úvahu dva typy operací:

Děrování – tzn. vystříhování otvoru (vyrábíme otvor a odpad je výstřížek). Jeho rozměr bude odpovídat rozměru střížníku, střížnice bude větší o střížnou vůli.

Vystříhování – výrobkem je výstřížek. Jeho rozměr bude odpovídat rozměru otvoru ve střížnici. Rozměr střížníku bude menší o střížnou vůli.

3.5. Síly při stříhání a střížná práce[1],[4]

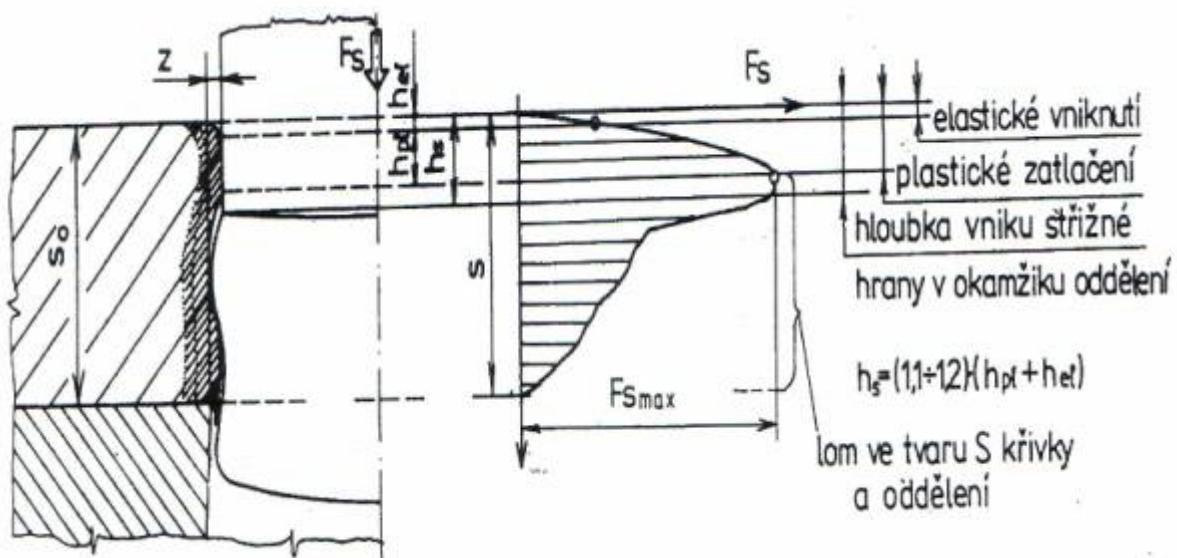
Při působení dvojce sil na stříhaný plech se plech naklání ve směru působení momentu sil. Přitom se však nože zatlačí do materiálu. Působením momentu sil F na rameni α se stříhaný materiál natočí o úhel α . Moment střížných sil je eliminován buď momentem přidržovače, nebo silami působícími na hřebety nožů.

Druhy střížných sil při stříhání jsou:

střížná síla
síla přidržovací
protlačovací síla

3.5.1. Střížná síla [2],[3]

Charakteristický průběh střížné síly v závislosti na vniknutí střížníku je na obr.6. Po krátké dráze elastického vniknutí břitu-napěchování kovu pod břitem dochází k plastickému přetvoření. I když se střížná plocha zmenšuje, dochází vlivem lokálního zpevnění k plynulému nárůstu síly. Po vzniku nástřihu tj. první porušení trhlinami, nastává ještě mírný a plynulý pokles síly až po hloubku vniku h_s , kdy dojde k úplnému porušení lomem ve tvaru S-křivky a následnému oddělení výstřížku s výrazným poklesem síly. Zpevněná oblast zasahuje 20-30 % tloušťky S_0 .



Obr. 6 Charakteristický průběh střižného procesu a střižné síly [3]

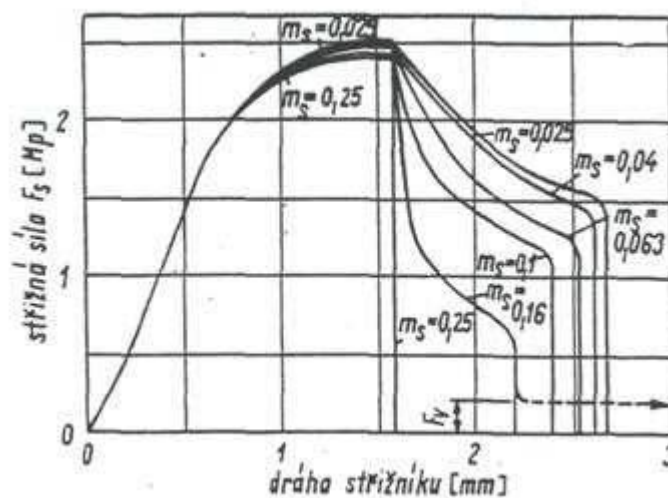
vztah pro výpočet střižné síly:

$$F_s = l_s \cdot 0,9 \cdot R_m \cdot k \cdot t \quad [N] \quad (3)$$

Kde R_m je mez pevnosti materiálu v tahu [MPa]

k je koeficient otupení nástroje, volí se 1,1-1,4

l_s délka střižné hrany



Obr.7 Průběh síly při stříhání rovnoběžnými noži s ukázkou vlivu střižné mezery m na průběh střižné síly F_s a velikosti práce A [4]

3.5.2. Stírací a protlačovací síla [1]

Po vystřížení ulpí děrovaný materiál vlivem pružné deformace na střižníku a k jeho setření je třeba určití síly F_u . Také pro vytlačení výstřížku ze střižnice je třeba vynaložit určitou sílu F_v . Obě tyto síly závisí na druhu materiálu, velikosti střižné vůle, tvaru a rozměru křivky stříhu a na druhu mazání.

Základní výpočet stírací a protlačovací síly vychází z velikosti pružných deformací ε_1 a ε_2 , které lze stanovit z rozdílu průměru střížníku a vystřihovaného otvoru. V praxi se stírací a protlačovací síla běžně určuje pomocí empirických vzorců využívajících velikost střížné síly.

$$\text{Stírací síla } F_u = k_{eu} \cdot F_s \quad [\text{N}] \quad (4)$$

Kde k_{eu} je koeficient závislý na tloušťce stříhaného materiálu a druhu stříhadla viz tabulka 1.
Pro běžné oceli se velikost stírací síly volí jako 10 % F_s

$$\text{Protlačovací síla } F_v = k_{ev} \cdot F_s \cdot n_p \quad [\text{N}] \quad (5)$$

Kde k_{ev} je koeficient závislý na tloušťce a druhu materiálu
 n_p je počet výstřížků v neodlehčené části stříhadla.

Při malých vůlich ($\leq 5\%$) F_v vzroste 1,5 až 2,5 krát, při velkých vůlich s (větší než 20%) se blíží F_v k nule. Také při použití maziv se sníží F_v o 20 až 40%.

Materiál	koeficient	
	k_{eu}	k_{ev}
Ocel	0,10 až 0,13	0,05
Mosaz	0,06 až 0,07	0,04
Slitiny hliníku	0,09	0,02 až 0,04

Tab. 4 hodnoty koeficientu k_{eu} a k_{ev} [1]

3.5.3. Práce při stříhání [1],[2],[3]

Práce při stříhání je energie potřebná pro vystřížení součásti. Je závislá na velikosti střížné síly a hloubce střížné hrany.

Tuto práci dostaneme jako integrál z plochy pod čarou s průběhu velikosti střížné síly v závislosti na dráze. Při zakreslení průběhu střížné síly do grafu dostaneme přibližně elipsu resp. půlelipsu. Při výpočtu práce můžeme zahrnout do rovnice eliptickou závilost. Práce se vypočítá ze vztahu:

$$A = 4/\pi \cdot F_s \cdot \chi \cdot t \quad [\text{J}] \quad (6)$$

kde $\chi = 0,2$ pro oceli o vyšších pevnostech
 $\chi = 0,4$ pro nízkouhlíkové oceli
 t je tloušťka stříhaného materiálu
 F_s velikost střížné síly

Trochu jednodušší výpočet je:

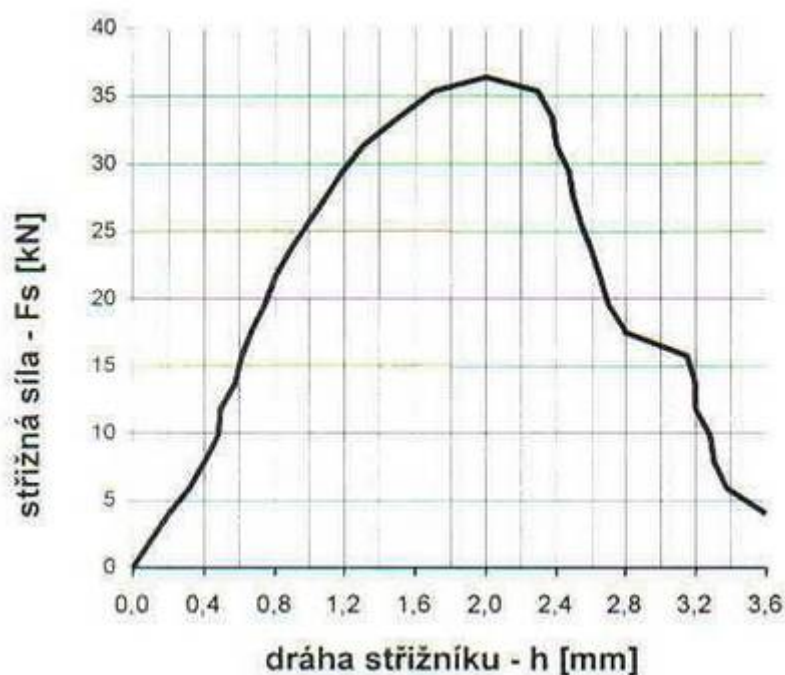
$$A_s = (k \cdot F_s \cdot t)/t \quad [\text{J}] \quad (7)$$

Kde A je střížná práce
 F_s střížná síla
 t tloušťka stříhaného plechu
 k koeficient (0,4 – 0,7), závislý na druhu materiálu.

nebo podle vztahu:

$$A = \lambda \cdot F_{smax} \cdot h \quad [J] \quad (8)$$

Kde λ je součinitel zaplnění diagramu $F_s - h$ (obr.8), pohybuje se v rozmezí $\lambda=0,2$ až $0,75$ a jeho hodnota roste se zmenšující se tloušťkou materiálu a stoupající tažností.
 F_{smax} je maximální síla potřebná k prostřížení materiálu

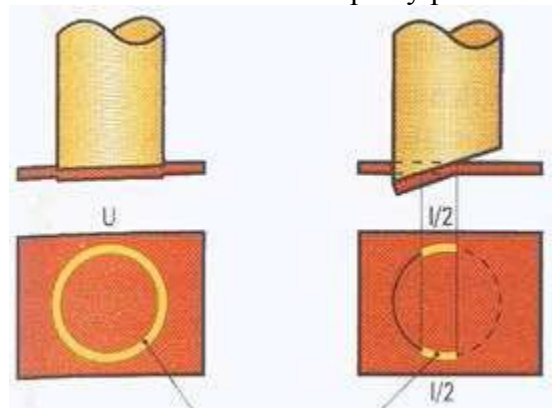


Obr. 8 Průběh střížné síly v závislosti na dráze střížníku [1]

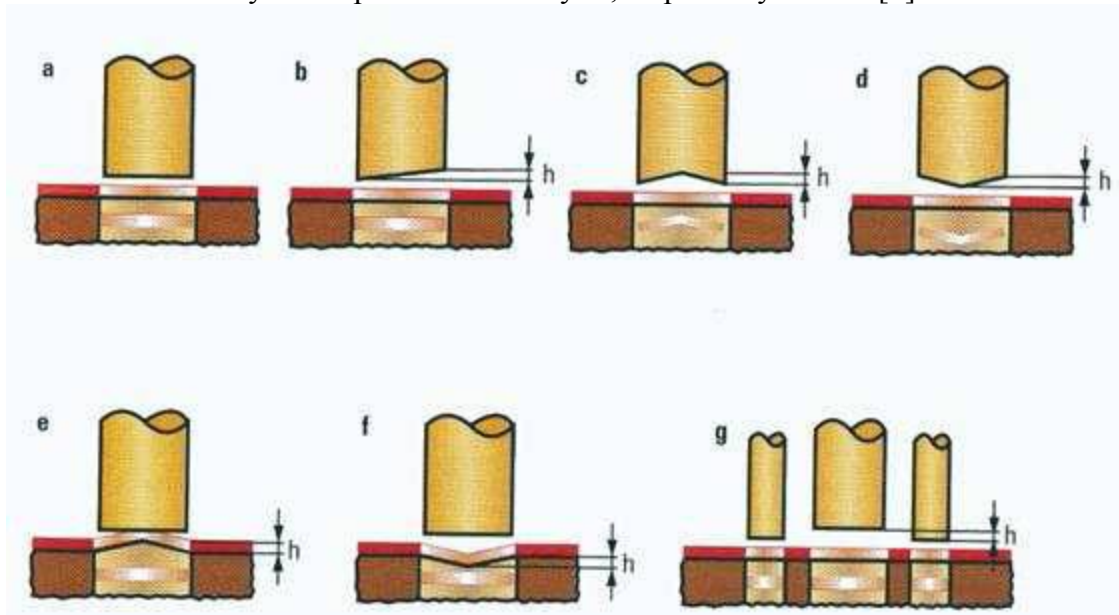
3.5.4. Možnosti snížení střížné síly [4]

Střížnou sílu lze snížit několika způsoby. Lze to udělat úpravou tvaru střížné hrany nástrojů, odstupňovanou délkou střížníků nebo postupným vystříhováním výstřížku. Prvních dvou způsobů se používá hodně při velké tloušťce materiálu. Posledního uvedeného způsobu se používá hlavně při velkých rozměrech výrobku.

Změna tvaru střížné hrany se provádí na střížníku nebo na střížnici. Znázornění úpravy je na obrázku č. 9 pro střížník a na obrázku č. 10 možné úpravy pro střížnici.



Obr. 9 Porovnání délky stříhu při stříhání rovnými, resp. šikmými noži [4]



Obr. 10 Úpravy střížníku a střížnice [4] (a – rovný stříh, b – jednostranné zkosení střížníku, c, d – oboustranné zkosení střížníku, e, f – zkosení střížnice, g - stupňovité uspořádání střížníků)

3.5.5. Těžiště střížných sil [3]

Při stříhání několika střížníků je nutné aby výslednice sil byla v ose lisu. Kdyby tato síla působila mimo osu, byl by beran zatížen značným klopným momentem, což by se projevilo menší přesností výrobku, snížením životnosti nástrojů i předčasným opotřebením beranu lisu. Polohu výslednice střížných sil můžeme určit pomocí výpočtu nebo grafiky.

Při výpočtu Vycházíme z podmínky, která platí pro rovnovážný stav, tj. že součet momentů sil ke zvolené přímce je roven nule (např. ke zvolené ose x či y). Matematicky vyjádřeno:

$$F_x X = F_1 a + F_2 b + F_3 c \quad (9)$$

Kde $F_x = F_1 + F_2 + F_3$

X je vzdálenost výslednice sil od osy y,

a, b, c- vzdálenost sil F_1 , F_2 , F_3 od osy.

Z toho plyne:

$$X = \frac{F_1 a + F_2 b + F_3 c}{F_1 + F_2 + F_3} \quad [\text{mm}] \quad (10)$$

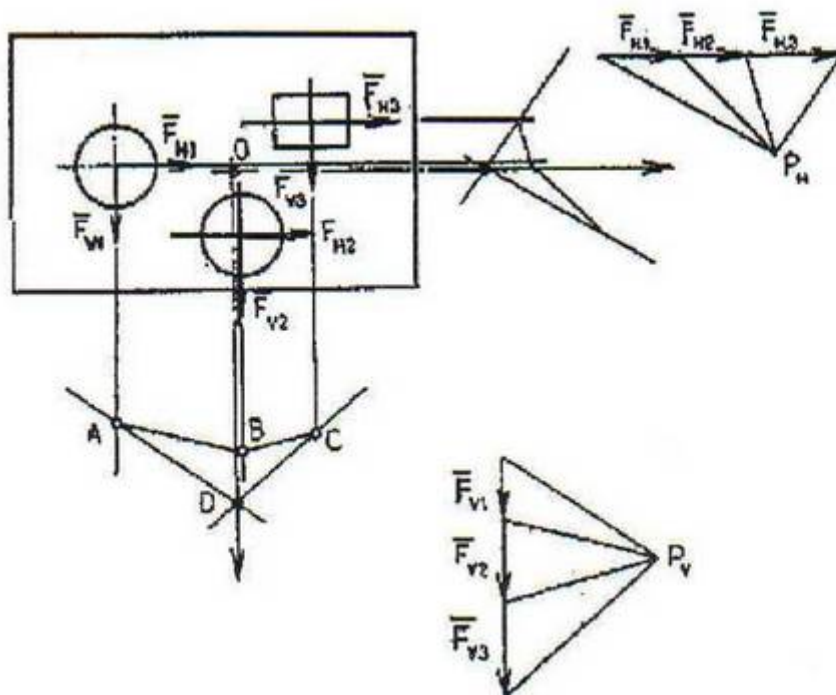
$$Y = \frac{F'_1 a_1 + F'_2 b_1 + F'_3 c_1}{F'_1 + F'_2 + F'_3} \quad [\text{mm}] \quad (11)$$

kde a_1, b_1, c_1 , jsou vzdálenosti sil F'_1 , F'_2 , F'_3 od osy x,

Y – vzdálenosti výslednice od osy x.

Při grafickém řešení polohy výslednice sil se používá vláknový polygon. Postup tohoto řešení se podobá početnímu:

- Na nástřihovém plánu se střížné čáry rozčlení na jednotlivé prvky, u kterých je poloha jejich těžiště známá.
- Z těchto těžišť se vynesou vektory sil v příslušné ose.
- Všechny síly se vynesou ve vhodném měřítku na jednu přímku, zvolí se bod, ke kterému se vedou vlákna.
- Pomocí rovnoběžek s vlákny se určí poloha přímky, na které leží těžiště sil v ose X
- Stejným způsobem se provede totéž pro osu y – těžiště střížných sil leží na průsečíku výslednic.



Obr 11. Postup při hledání těžiště sil grafickou metodou [3]

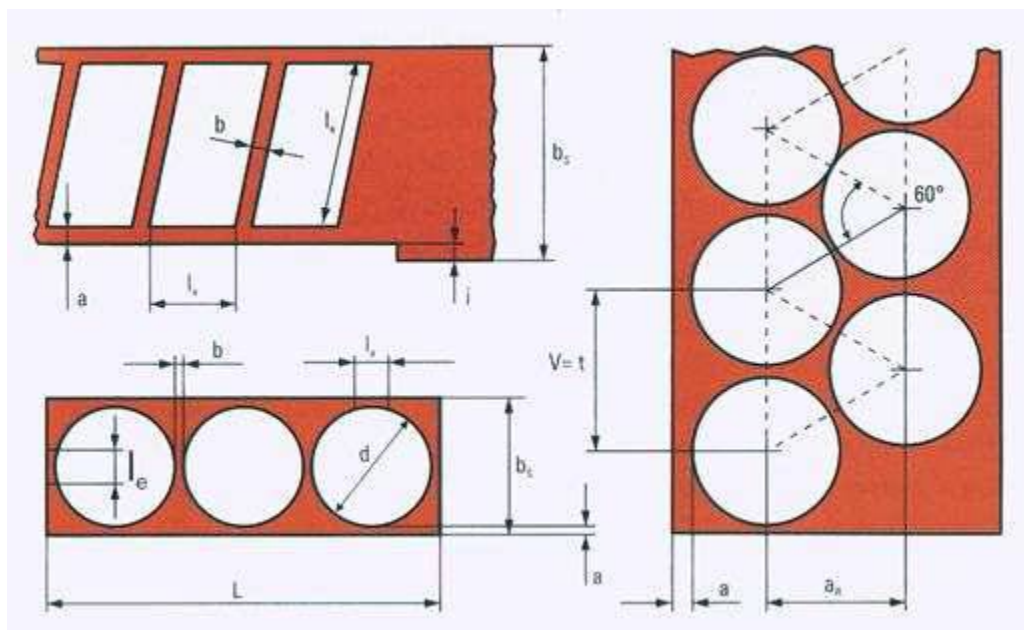
3.6. Nástřihový plán [4]

Při stříhání je velmi důležité výstřižky rozmístit na pásu plechu tak, aby odpad byl co nejmenší. Rozmístění výstřižků na pásu plechu je potom označováno jako nástřihový plán. Odpad (ať už technologický nebo konstrukční) je nedílnou součástí technologie stříhání, která patří mezi hromadné výrobní procesy, proto se musí rozmístění výrobků věnovat velká pozornost. Vždyť materiál tvoří zhruba 60 až 75 % celkových nákladů. Volba nástřihového plánu závisí na tvaru a konstrukci výrobku, na dodržování zásad konstrukce, na minimálních vzdálenostech mezi výrobku a od okraje pásu.

Nástřihový plán může být buď kusový, kdy se určuje nejvýhodnější způsob stříhání nebo skupinový, kdy se budou stříhat různé tvary a součásti jednoho výrobku. Hospodárnost nástřihu charakterizuje součinitel využití materiálu, který lze zapsat ve tvaru:

$$\eta = S_o / S_p \quad [\%] \quad (12)$$

Kde S_o je celková plocha výstřižků $[\text{mm}^2]$
 S_p je plocha pásu plechu $[\text{mm}^2]$

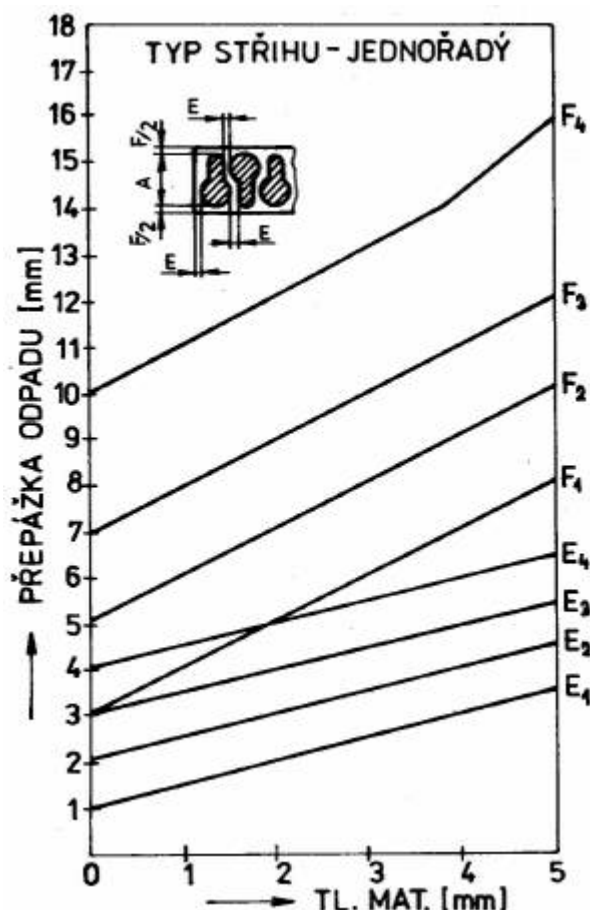


Obr.12 Příklady nástřihových plánu [4]

3.6.1. Šířka pásu, velikost kroku, stanovení přepážek a mezer

Šířka pásu se určí ze šířky výrobku, jeho vhodným rozložením, přidáním mezer a přepážek mezi jednotlivými výstřižky.

$$\text{Délka kroku:} \quad \mathbf{K} = \mathbf{B} + \mathbf{E} \quad [\text{mm}] \quad (13)$$



Obr.14 Diagram k určení přepážky a mezery [3]

3.7. Technologičnost konstrukce výstřižků [9]

Výstřižek má mít takový tvar, aby se dal zhotovit při co nejnižších výrobních nákladech a přitom splňoval svoji funkci.

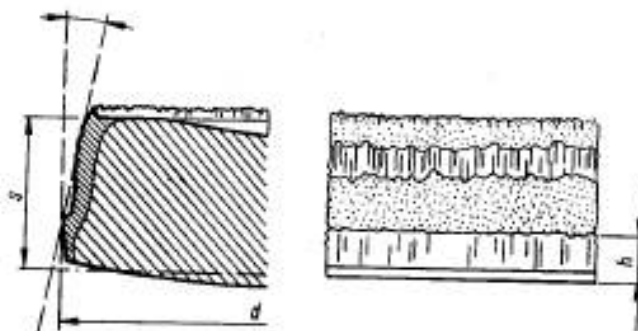
Jsou stanoveny také určité zásady o technologičnosti konstrukce výstřižku. Tvar a uspořádání na pásu ovlivňuje hospodárné využití stříhaného materiálu. Největší mírou se na technologičnosti výroby podílí konstruktér při jejím návrhu. Výsledným ukazatelem správného návrhu řešení jsou nejnížší náklady na materiál, nástroj a výrobu.

3.7.1. Základní pravidla technologičnosti [9]

Technologičnosti konstrukce výstřižků se dosáhne respektováním některých nedokonalostí procesu stříhání jako jsou:

- drsnost střižné plochy, jež vzniká z větší části lomem materiálu,
- malé zešíkmení střižné plochy vlivem mezery mezi břity, jež se opotřebením stříhadla zvětšuje (viz. obr. 15).
- zeslabení tloušťky plechu podél střižné plochy. (u výstřižku malé šířky a otevřeného stříhu se projeví ještě zvětšení šířky),
- zpevnění materiálu do hloubky asi (0,1 až 0,2)t,
- odchylky v rozměrech výstřižku způsobené výrobou a hlavně opotřebením stříhadla, zešíkmením střižné plochy a v malé míře i odpružením,
- prohnutí některých výstřižků ohybovým momentem obou složek střižné síly.

Zabránit uvedeným nedokonalostem je samozřejmě možné například přesným stříháním, přistříhováním, kalibrováním atd., ovšem za cenu zvýšení výrobních nákladů (dražší nástroj, přídavné operace).



Obr.15 Vzhled střížné plochy [9]

kde h je hloubka tzv. plastického přistříhu
 v je zkosení střížné hrany

Z výše uvedených vlastností stříhání lze odvodit tato pravidla technologičnosti:

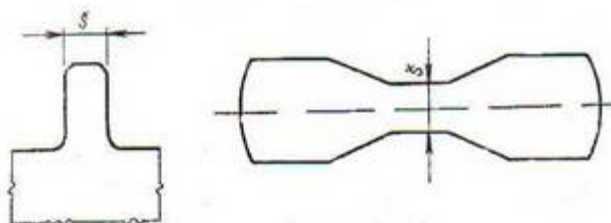
1. Neuvažovat tolerance rozměrů pod mez, které lze dosáhnout při běžné práci lisovny. Je třeba připomenout, že se tolerance vztahuje na rozměry výstřížku vzhledem k výkresu. Výstřížky porovnávány navzájem jsou téměř shodné, jejich rozměry se mění jen vlivem opotřebení nástroje (podle konstrukce nástroje se vnější rozměry zvětšují, otvory se zmenšují).
2. Není-li střížná plocha funkční plochou součásti, nepředepisovat její kolmost ani drsnost k ploše plechu. Při obvyklé jakosti stříhu má část střížné plochy odpovídající drsnost do hloubky $Ra=0,8$ až $3,2$ tj. odpovídající přibližně drsnosti hřbetu břitů. Za ní následuje část střížné plochy vytvořená utržením (lomem), je drsnější $Ra=3,2$ až $6,3$, a je zkosená v závislosti na velikosti střížné vůle, otupení a opotřebení nástroje. Otupený nástroj způsobuje vznik otřepů, které lze odstranit omíláním nebo seškrábnutím. Průvodním jevem je dále zpevnění materiálu na střížné ploše do hloubky asi $0,1$ až $0,2$ tloušťky plechu.
 Odstranění všech nepravidelností na střížné ploše vyžaduje buď zvláštní operaci (přistřížení), nebo složitý nástroj (s přidržovači). Přistříhováním lze drsnost střížné plochy zmenšit na $Ra=1,6$ až $0,4$.
3. Rovinnost malých výstřížků z tlustých plechů větší tvárnosti se může porušit vlivem ohybového momentu dvojice střížných sil. Jde zejména o úzké kroužky podložky apod. U takových výlisků předepisovat jen nezbytnou rovinnost.
4. Nejmenší velikost otvorů, jež lze běžným nástrojem prostříhnout, závisí na tloušťce a druhu materiálu (tab. 5).

Materiál	Obvyklé děrování		Děrování vedeným střížníkem a s přidržovačem	
	A	B	A	B
Textgumoid, pertinax apod.	0,4s	0,35s	0,3s	0,25s
Hliník, měkká ocel	0,8s	0,6s	0,3s	0,25s
Mosaz	1,00s	0,80s	0,35s	0,30s
Tvrdá ocel	1,5s	1,20s	0,50ts	0,40s

Tab. 5 Minimální velikosti otvorů [9]

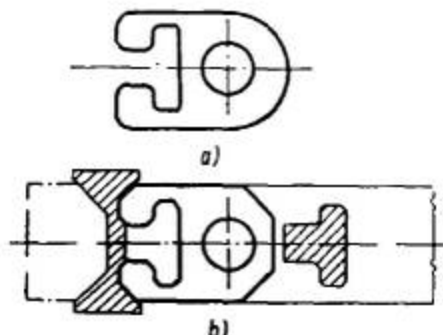
A-průměr kruhového otvoru, B-šířka obdélníkového otvoru, s-tloušťka plechu

5. Otvorům kruhového průřezu je třeba vždy dát přednost. Z důvodu ekonomičtější výroby.
6. Vzdálenost mezi otvory nebo otvorů od kraje výstřižku má být $a \geq 0,8s$, $b \geq s$, $c \geq 1,5s$. Uvedené údaje platí pro polotvrdý plech $R_m = 500\text{MPa}$, u měkčích materiálů je třeba uvedené vzdálenosti zvětšit o 20 až 25% u plechů tloušťce $s \leq 1,5\text{ mm}$ a o 10 až 15% u plechů hrubších.
7. Šířka vyčnívajících částí nebo nejmenší šířka štíhlých výstřižků má být $\bar{s} = 1,5s$ (Obr.14).



Obr. 16 Nejmenší stříhaná šířka [9]

8. Rohy na výstřižku mají být sraženy nebo zaobleny. Sražení pod úhlem 45° je nezbytné, vzniká-li obrys postupným stříhem (obr. 15).



Obr. 17 Úprava rohů výstřižku[9]

a-nevhodný tvar, b-vhodný tvar pro postupový stříh

9. Poloměr zaoblení rohů při uzavřeném stříhu má být tím větší, čím je roh ostřejší. Zmenšit úhel rohů je možné, je-li roh zaoblen větším poloměrem $r > 0,5s$, nebo zkosen $k > s$. U

větších rohů se tloušťka plechu u vrcholu zeslabuje tím více, čím je úhel menší, materiál tvárnější a plech tlustší. Touto vadou netrpí vnitřní rohy, avšak jsou-li příliš ostré, vyžaduje nástroj velkou péči, obzvlášť není-li střížnice dělená. Velmi ostré rohy lze vyrobit jen na dvě operace.

10. Není správné měnit na výstřižku poloměr zaoblení rohů, střídat ostré a zaoblené rohy.
11. Plynulé přechody oblouků do přímých částí obrysu apod. Zdražují nástroj a vyžadují uzavřený stříh.
12. Při stříhání na nůžkách volíme tvary vyžadující nejmenší počet stříhů.
13. Vystupující, delší části obrysu výstřižku nebo jim podobná zaoblení mají mít výšku $h \geq 1,2s$.
14. Nejvhodnější tvar výstřižku je rovnoběžník, jehož protější strany jsou stejně tvarovány jako negativ a pozitiv. Čím přesněji je toto pravidlo dodrženo, tím lepší je využití materiálu.
15. Nelze-li dodržet tvar negativ-pozitiv, vyhoví také tvar symetrický vzhledem k ose strany. Přitom může jít o symetrii negativu s pozitivem či pozitivu s pozitivem. I v tomto případě se má plocha výstupku rovnat přibližně ploše vybrání.
16. Kruhový obrys výstřižku je obecně nevýhodný, ztráta materiálu tu bývá průměrně 30%.
17. Trojúhelníkový obrys výstřižku je vhodný, jde-li o rovnoramenný trojúhelník, jehož ramena jsou vytvořena otáčením těže části obrysu společného vrcholu.
18. Nemusí-li být jednotlivé výstřižky identické a obrys zcela plynulý, nemusí být střížná čára uzavřena a v některých předchozích případech je možno vynechat přepážky (úspora materiálu).
19. Rozvětvené tvary výstřižku jsou velmi neúsporné, třeba hledat tvary spojitě. Čím jednodušší obrys, tím je snadnější a levnější výroba nástroje a jeho údržba, zvlášť u malých výstřižků.

3.8. Střížný nástroj [3]

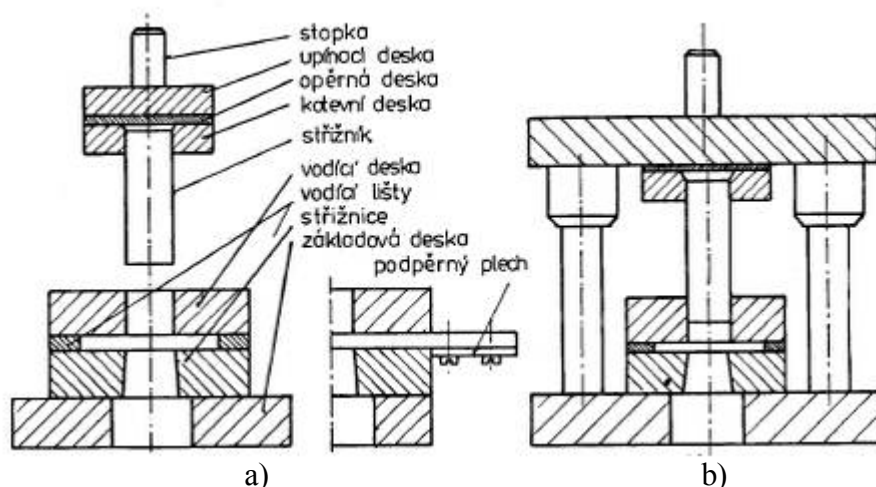
Střížné nástroje se dle požadavku přesnosti dělí:

- Střížné nástroje bez vedení – pro méně přesnou výrobu s malými požadavky na kvalitu střížné plochy, pro výrobu malých a středně velkých výrobků, vyráběných v kusové a malosériové výrobě. Vzájemnou polohu hlavních dílů (střížníku a střížnice) zajišťuje pouze stojan a beran lisu. Vedení střížníku proti střížnici zajišťuje vodící deska.
- Střížné nástroje s vedením -přesné vedení horní části nástroje vůči spodní zajišťují vodící slupky

Střížné nástroje můžeme také dělit podle počtu a druhu operací

- nástroje jednoduché
- nástroje postupové - dva a více operací jdoucí za sebou (např. děrování a v dalším kroku vystřihování)
- nástroje sloučené - sloučení operací stejného typu (na vystřihování v jednom pracovním zdvihu)
- nástroje sdružené – sdružování operací různého typu (např. stříhání + tažení)

3.8.1. Konstrukční části střížného nástroje [8]



Obr 18. Schéma střížného nástroje [8]
a) bez vodícího stojánek, b) s vodícím stojánkem

Dolní část nástroje se skládá ze základové desky, vodící lišty, střížnice a vodící desky (u nástroje s vedením) a nazývá se střížná skříň.

Horní část se skládá ze stopky, opěrné desky, upínací desky, kotvení desky a střížníku se nazývá upínací hlavice (Obr. 18).

Nástroje se střížnou skříní a hlavici jsou normalizovány a jsou dodávány jako polotovary ke konečné úpravě. Na obr. 18a je stříhadlo s vodícími sloupky upevněné v základové desce, které zajišťují vedení střížníku do střížnice. Na upínací desku se upíná hlavice pro vodící stojánek se zakotvenými střížníky, které jsou obdobné jako hlavice pro střížné skříně.

3.8.2. Stanovení rozměrů pracovních částí stříhadel

Konstrukce nástroje je dána nástřihovým plánem, který má zajistit úsporu materiálu, snadný a přesný posun materiálu v rovině plechu při jednotlivých krocích a vyvážení sil v ose nástroje a v rovině plechu. Dále je konstrukce ovlivněna množstvím výrobků, druhem materiálu výrobku, dalšími operacemi i strojem, ve kterém bude nástroj upnutý.

Střížnice

Je pracovním elementem stříhadla. Podle složitosti a velikosti stříhaného kusu se střížnice vyrábí :

- celistvá – pro malé a tvarově jednoduché tvary
- skládaná – pro rozměrné a tvarově složité součásti
- vložková – deska z konstrukční oceli a do ní zalisovány vložky z nástrojového materiálu, které mají potřebný otvor. Skládané a vložkové střížnice mají větší životnost, protože je možnost vyměnitelnosti. Vložky a díly střížnice jsou výrobně jednodušší a levnější než střížnice celistvá. Materiálem bývá nástrojová ocel 19 436, 19 191, 19 312 zušlechtěná na 60 až 62 HRC. Pro předběžný odhad tloušťky střížnice se používá ČSN nebo vzorec:

$$H_s = \sqrt[3]{F_s} \quad [\text{mm}] \quad (15)$$

kde H_s je tloušťka střížnice [mm]
 F_s střížná síla [N]

Požadavky na střížnici

- Střížnice musí být vyrobená bez přechodů a musí být broušená
- ve vodícím stojánku zalícovaná se správným předpětím
- v zeslabených místech podepřená ze spodu tvarovými vložkami
- konstruovaná s odvodušňovací drážkou

Střížníky

Jsou další pracovní elementy nástroje. Vyrábějí se normalizované, kruhových, čtvercových, obdélníkových i jiných tvarů. Pokud je střížník většího rozměru, je možné ho vyrobit jako dělený, kdy je čelo z kvalitní nástrojové oceli a zbytek z méně kvalitní oceli. Střížníky se upínají do kotevní desky několika způsoby. Střížníky je možné roznýtovat, uchytit za vyrobené osazení nebo zalít do pryskyřice adt. Materiál střížníků bývá nástrojová ocel 19 435, 19 436, 19 312, 19 422, zušlechťené na tvrdost 61 až 63 HRC. Skutečné namáhání na tlak lze vypočítat vztahem dle:

$$\sigma_D = \frac{F_D}{S_D} \leq \sigma_{Ddov} \quad [\text{MPa}] \quad (16)$$

kde F_d je střížná síla daného střížníku [N]
 S obsah plochy průřezu střížníku [mm²]
 σ_{Dov} dovolené namáhání v tlaku [MPa]

Při kontrole střížníku na vzpěr hraje roli jejich délka. Slabé a dlouhé střížníky mohou vybočit z osy. Kritická délka l_k , která způsobí vybočení je pro nástroje s vedením, resp. bez vedení, daná vztahem:

$$l_k = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu \cdot F_{s \max}}} \quad [\text{mm}] \quad (17)$$

kde E je modul pružnosti [MPa]
 I moment setrvačnosti [N]
 $F_{s \max}$ max. hodnota střížné síly [mm]
 μ součinitel bezpečnosti (1,5 až 2)

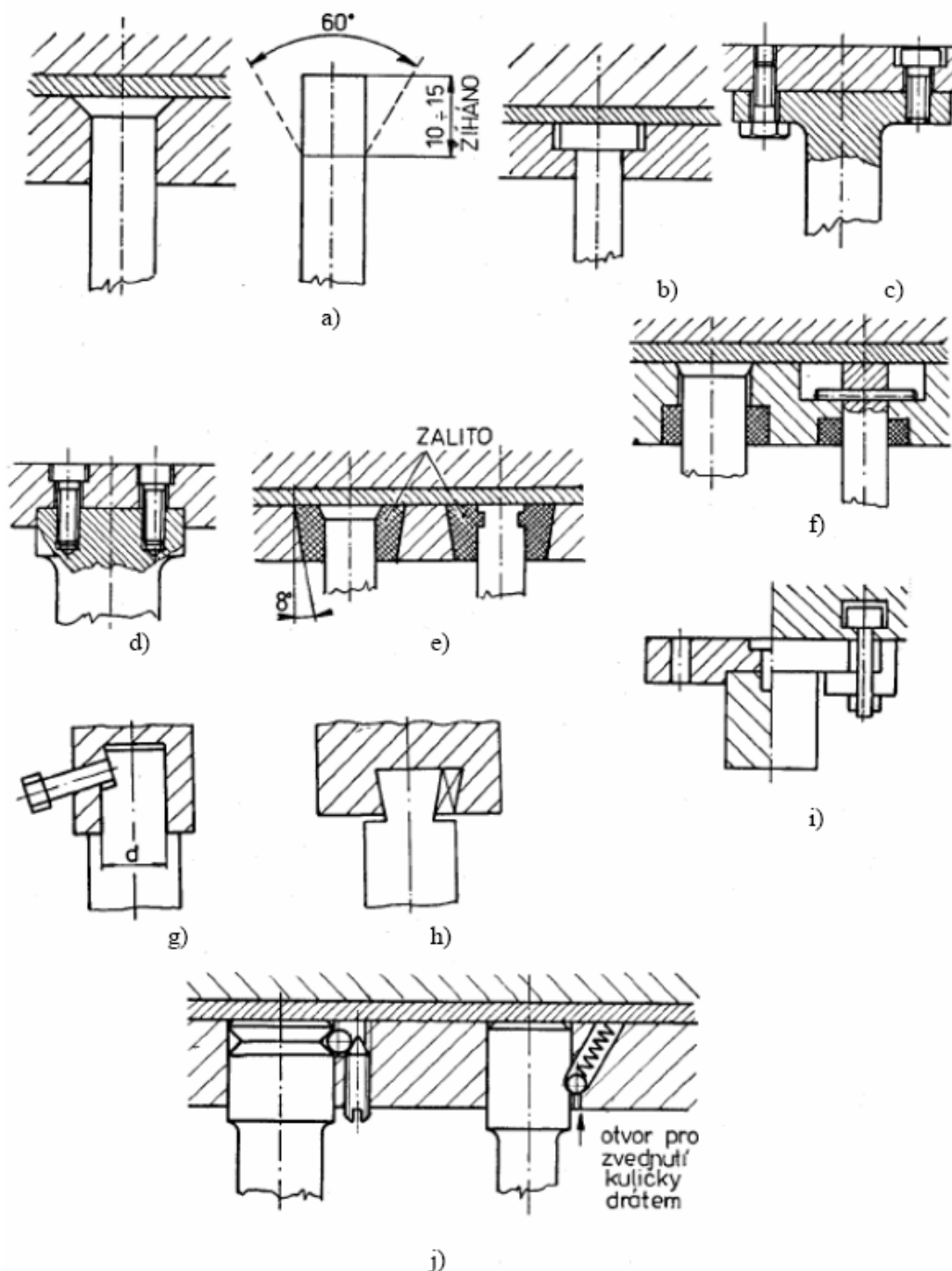
Pevnost tenkých střížníků se zvětší osazením nebo vkládáním do pouzdra. Používá se různých druhů střížníků. Základním požadavkem u všech je tuhost a kolmost upevnění v kotevní desce. Délky střížníků jsou 60 až 90 mm, odstupňované po 10 mm. Střížníky se vyrábějí z nástrojových ocelí a tepelně se zpracovávají nebo mají činné části ze slinutých karbidů.

Požadavky na střížník

- kolmý a zalícovaný ve vyhazovači suvně
- zalícovaný v kotevní desce

- odmagnetizovaný
- souosý (zejména otvory pro vyhazovač)

Velmi různorodé je uložení střižníků do kotevní desky. Kotvení má zajistit střižník proti vytažení z kotevní desky tahovací silou, která dosahuje maximálně 20 % střižné síly. K jejímu zachycení stačí na střižníku vytvořit rozklepání nebo při třískovém obrábění kuželovou nebo válcovou plochu. Střižníky s jednoduchým tvarem se mohou kotvit šroubováním ke kotevní desce s vystředěním pomocí dvou kolíků. Střižníky se složitým tvarem střižného obvodu se často kotví zalitím do pryskyřice. Na obr. jsou znázorněny různé způsoby upínání střižníků ke kotevní desce.



Obr. 19 Způsoby upnutí střižníků [8]: a) roznýtováním, b) osazením, c,d) šroubováním,

e) zalitím pryskyřicí, f) kombinace zalití a roznýtování, zajištění kolíkem, g) zajištění šroubem, h) zajištění klínem, i) zajištění upínkou, j) zajištění kuličkou

3.8.3 Materiály střížných nástrojů

Materiály používané pro konstrukci střížných nástrojů lze rozdělit do několika skupin:

1. konstrukční oceli - obvyklých jakostí tříd 10 a 11
- ušlechtilé, uhlíkové nebo slitinové oceli tříd 12 až 17
2. šedé litiny - používá se jen pro základové části nástrojů
3. oceli na odlitky - nahrazuje šedou litinu v případech, kdy tato již pevnostně nevyhovuje
4. nástrojové oceli - ušlechtilé oceli třídy 19
5. ostatní materiály - SK, keramické vložky, slitiny Al, Zn, lité pryskyřice, dřevo, papír, pryž,.....

Činné části střížných nástrojů je také možno upravovat nanášením povlaků Nitridu titanu (TiN) či pomocí návarů. Na materiálu funkčních částí nástroje a na postupu tepelného zpracování je závislá hospodárnost a především ekonomická otázka vystřihování.

4.NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

4.1. Nástřihový plán zadání součásti

Výstřižky se vyrábějí ze svitků plechu nebo se pásy nastřihají z tabulí plechu o rozměrech 2000 x 1000mm na tabulových nůžkách.

$$A = 73 \text{ mm}$$

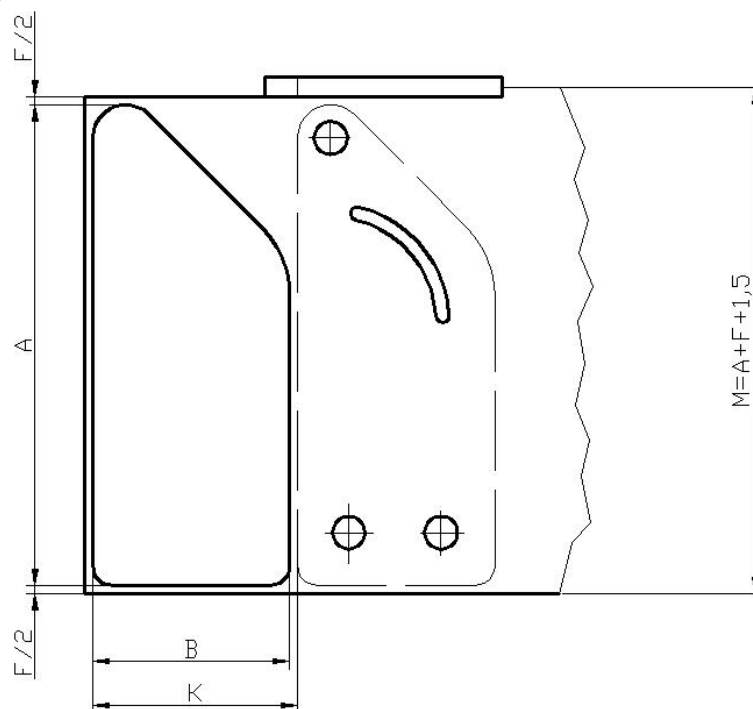
$$F = 4 + 1,5 \text{ mm (1,5mm na odstřížek)}$$

$$E = 1,2 \text{ mm}$$

$$B = 30,6 \text{ mm}$$

$$K = 30 + E = 31,2 \text{ mm}$$

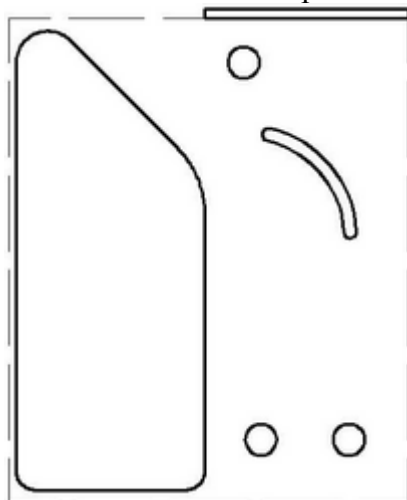
$$M = 73 + F = 78,5 \text{ mm}$$



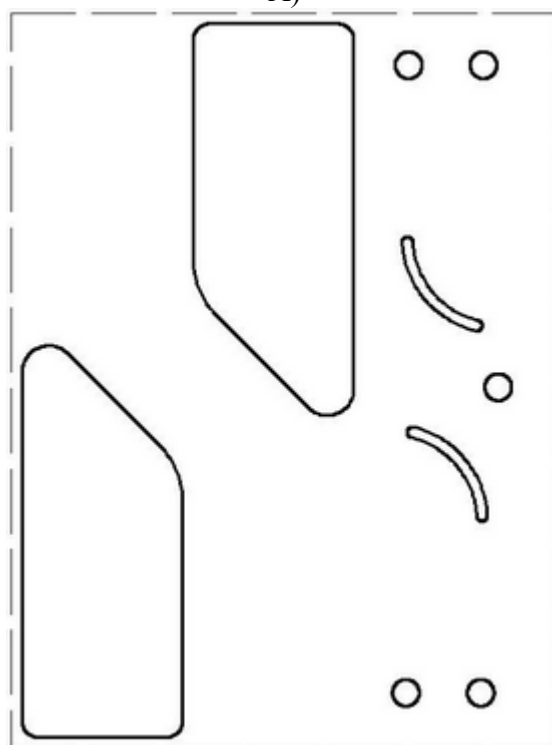
Obr. 20 Nástřihový plán zadané součásti

4.2. Návrh postupu stříhání

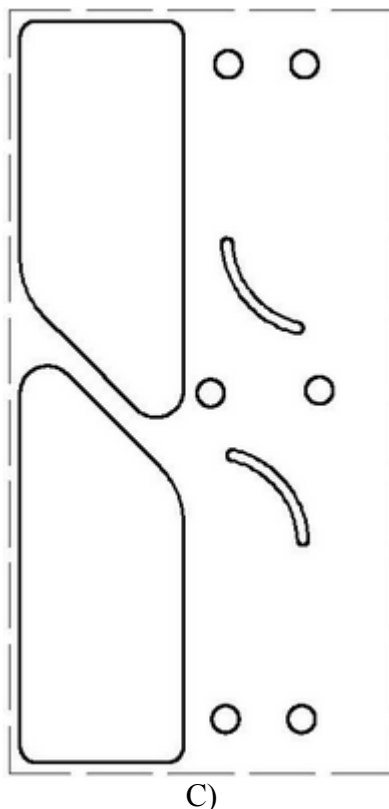
Vyrábí se tvarově jednoduchá součást. Z toho důvodu by mohlo být více variant nástřihového plánu. Vhodnost nástřihového plánu posuzujeme především z ekonomického hlediska. Největší mírou na využitelnosti materiálu se podílí konstruktér při návrhu součásti.



A)



B)



Obr. 21 Návrhy uspořádání střížníků

Nejvhodnější variantou i přes menší využití materiálu je A). U varianty B) a C) je využití materiálu lepší, avšak vyžaduje komplikovaný nástroj. Složitá konstrukce nástroje by zvýšila celkové náklady na výrobu více, než náklady uspořené nákupem méně materiálu na výrobu součástí. Varianta A počítá s využitím krokového nože. Zbylé varianty využívají načínací dorazy.

4.3. Výpočet a využití a spotřeby materiálu

Výstřižky se vyrábějí ze svitků plechu nebo se pásy nastříhají z tabulí plechu o rozměrech 2000 x 1000mm na tabulových nůžkách.

Počet pásů z tabule: $P_p = \text{šířka tabule} / \text{šířka pásu}$ [ks] (18)

$$P_{p1} = 2000 / 78,5 = 25,5 \quad 25 \text{ ks}$$

$$P_{p2} = 1000 / 78,5 = 12,73 \quad 12 \text{ ks}$$

Počet výstřižků z pásu: $P_v = \text{šířka pásu} / \text{šířka kroku}$ [ks] (19)

$$P_{v1} = 2000 / 31,2 = 64,1 \quad 64 \text{ ks}$$

$$P_{v2} = 1000 / 31,2 = 32,05 \quad 32 \text{ ks}$$

Počet výstřižků z tabule: $P_{vt} = P_v \cdot P_p$ [ks] (20)

$$P_{vt1} = 25 \cdot 32 = 800 \text{ ks}$$

$$P_{vt2} = 12 \cdot 64 = 768 \text{ ks}$$

$$\text{Plocha výstřižků z tabule: } S_{vv} = P_{vt} \cdot S_v \quad [m^2] \quad (21)$$

$$S_{vv} = 800 \cdot 0,001 \, 909 \, 25 = 1,527 \, m^2$$

$$\text{Využití tabule v \% : } V_{už} = S_{vv} / S_t \cdot 100 \quad [\%] \quad (22)$$

$$V_{už} = 1,527 / 2 \cdot 100 = 76,35 \, \%$$

$$\text{Počet tabulí na rok: } P_{tab} = \text{počet ks} / P_{vt} \quad [ks] \quad (23)$$

$$P_{tab} = 100000 / 800 = 125 \, ks$$

$$\text{Hmotnost tabule ocel. plechu: } m = d \cdot š \cdot t \cdot 7800 \quad [kg] \quad (24)$$

$$m = 2000 \cdot 1000 \cdot 0,001 \cdot 7800 = 15,6 \, kg$$

Nejvhodnější variantou i přes menší využití materiálu je A). U varianty B) a C) je využití materiálu lepší, avšak vyžaduje komplikovaný nástroj. Složitá konstrukce nástroje by zvýšila celkové náklady na výrobu více, než náklady uspořené nákupem méně materiálu na výrobu součástí.

4.4. Určení střižné síly

střižná síla se vypočítá ze vztahu

$$F_s = l_s \cdot t \cdot 0,9 \cdot R_m \cdot k \quad [N] \quad (25)$$

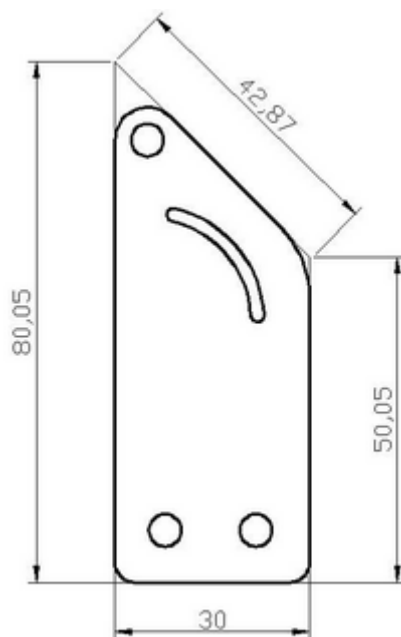
$$R_m = 280 - 400 \, MPa$$

$$k = (1, 2 - 1, 5)$$

$$t = 1 \, mm$$

l_s – délku střižné hrany je třeba vypočítat z rozměrů součástí

Pro zjednodušení výpočtu byly zanedbány délky oblouků a rozměry byly počítány s plnou délkou jednotlivých stran.



Obr. 22 Výpočet střížné délky hrany

Celková délka střížné hrany se vypočítá podle vztahu:

$$l_s = l_{sS} + l_{sD} + l_{sO} + l_{sN} \quad [\text{mm}] \quad (26)$$

Délka obvodu výstřížku

$$l_{sS} = 30 + 50,05 + 80,05 + 42,87 = 202,97 \text{ mm}$$

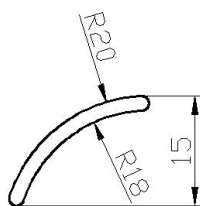
Přesnější výsledek vypočítaný pomocí programu AutoCAD 2006 je 186,94 mm.

Délka hrany kruhových otvorů

$$l_{sD} = 3 \cdot \pi \cdot d \quad [\text{mm}] \quad (27)$$

$$l_{sD} = 3 \cdot \pi \cdot 5 = 47,12 \text{ mm}$$

Délka hrany Tvarového otvoru



Obr. 23 Tvarový otvor na výstřížku

$$l_{sO} = \pi \cdot 2r + \frac{\pi \cdot d_1 \cdot \beta_1}{360 \cdot 2} + \frac{\pi \cdot d_2 \cdot \beta_2}{360 \cdot 2} \quad [\text{mm}] \quad (28)$$

$$l_{sO} = \pi \cdot 2 \cdot 2 + \frac{\pi \cdot 32 \cdot 160,81}{360 \cdot 2} + \frac{\pi \cdot 36 \cdot 162,75}{360 \cdot 2} = 49,04 \text{ mm}$$

Přesnější výsledek vypočítaný pomocí programu AutoCAD 2006 je 49,61 mm.

$$l_{sN} = 31,2 + 1,5 = 32,7 \text{ mm} \quad [\text{mm}] \quad (29)$$

celková délka střížné hrany (je počítáno s výsledky z AutoCADu)

$$l_s = 186,94 + 47,12 + 49,61 + 32,7 = 316,37 \text{ mm}$$

dosazení hodnot do vzorce pro výpočet střížné síly

$$F_s = 0,9 \cdot 316,37 \cdot 1 \cdot 400 \cdot 1,3 = 148061 \text{ N} \cong 149 \text{ kN}$$

4.5. Stírací a protlačovací síla

-Stírací síla $F_u = k_{eu} \cdot F_s = 0,11 \cdot 148061 = \underline{16287 \text{ N}}$

k_{eu} - koeficient závislý na tloušce stříhaného materiálu a druhu stříhadla viz tabulka X. volím 0,11. Pro běžné oceli se velikost stírací síly volí jako 10 % F_s .

-Protlačovací síla $F_v = k_{ev} \cdot F_s \cdot n_p = 0,05 \cdot 148061 \cdot 2 = \underline{14061 \text{ N}}$

k_{ev} - je koeficient závislý na tloušce a druhu materiálu

n_p - je počet výstřížků v neodlehčené části stříhadla.

$$n_p = \frac{2}{t} = 2 \Rightarrow \text{poč. celých výstř.} = 2$$

Materiál	koeficient	
	k_{eu}	k_{ev}
Ocel	0,10 až 0,13	0,05
Mosaz	0,06 až 0,07	0,04
Slitiny hliníku	0,09	0,02 až 0,04

Tabulka 6. hodnoty koeficientu k_{eu} a k_{ev}

4.6. Výpočet střížné práce

$$A = \frac{k \cdot F_s \cdot t}{1000} = \frac{0,5 \cdot 148061 \cdot 1}{1000} = 74 \text{ J}$$

A je střížná práce

F_s střížná síla

t tloušťka stříhaného plechu

k koeficient (0,4 – 0,7), závislý na druhu materiálu, volím 0,5.

4.7. Stanovení velikosti střížné vůle

$$v = 6\% \cdot t = 0,06 \text{ mm} \quad \text{určeno dle tabulky 1. mezní hodnoty vůlí}$$

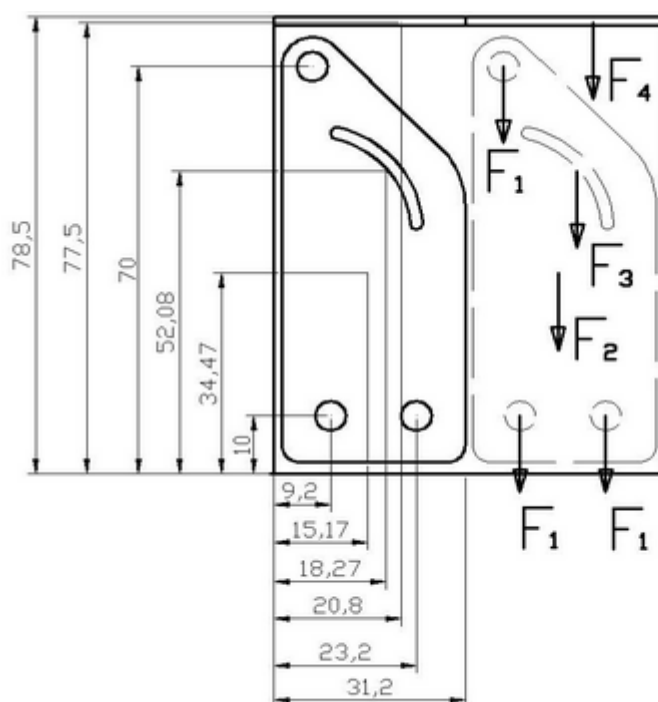
t je tloušťka plechu,

τ_s pevnost ve stříhu

c součinitel, jehož velikost se volí v rozmezí 0,005 až 0,035. Nižší hodnoty volíme, chceme-li získat lepší střížnou plochu, vyšší hodnoty součinitele umožní dosáhnout minimální střížné síly, volím 0,04

4.8. Výpočet těžiště střížných sil

Z důvodu složitosti výpočtu některých tvarových prvků na součásti, bylo jejich těžiště určeno pomocí programu AutoCAD.



Obr. 24 určení polohy těžiště

Střížné síly na jednotlivých střížnících

$$F_1 = \underline{7351\text{N}}$$

$$F_2 = \underline{87488\text{N}}$$

$$F_3 = \underline{23218\text{N}}$$

$$F_4 = \underline{15304\text{N}}$$

$$X_T = \frac{2 \cdot F_1 \cdot 9,2 + F_1 \cdot 23,2 + F_2 \cdot 15,17 + F_3 \cdot 18,27 + F_4 \cdot 20,8}{F_{S \max}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 7351 \cdot 9,2 + 7351 \cdot 23,2 + 87488 \cdot 15,17 + 23218 \cdot 18,27 + 15304 \cdot 20,8}{148061} = 16,044\text{mm}$$
(30)

$$X_T = \underline{16\text{mm}}$$

$$Y_T = \frac{2 \cdot F_1 \cdot 10 + F_1 \cdot 70 + F_2 \cdot 34,47 + F_3 \cdot 52,08 + F_4 \cdot 77,5}{F_{S \max}} =$$

$$= \frac{2 \cdot 7351 \cdot 10 + 7351 \cdot 70 + 87488 \cdot 34,47 + 23218 \cdot 52,08 + 15304 \cdot 77,5}{148061} = 41,014\text{mm}$$
(31)

$$Y_T = \underline{41\text{mm}}$$

Osa stopky bude ležet v těžišti střížných sil X_T a Y_T .

4.10. Určení rozměru střížníku

Stanovení dle ČSN 22 6015

RAV...rozměr střížníku při vystřihování

RAD...rozměr střížníku při děrování

JR.....jmenovitý rozměr součásti

v.....střížná vůle

TS.....tolerance jmenovitého rozměru

P.....přípustná míra opotřebení

TA.....výrobní tolerance střížníku

Děrování Ø 5 mm

JR = 5 mm

TS = ± 0,1 mm

P = 0,09 mm

TA = 0,035 mm

v = 0,06 mm

$$RAD = \left(JR - \frac{P}{2} \right) + TA = \left(5 - \frac{0,09}{2} \right) + 0,035 = 4,96^{+0,035}_0$$

Vystřihování rozměry 73mm a 30mm

JR = 73 mm 30 mm

TS = ± 0,4 mm ± 0,3 mm

P = 0,31 mm 0,25 mm

TA = 0,074 mm 0,06 mm

v = 0,06 mm 0,06 mm

$$RAD = \left(JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA = \left(73 - \frac{0,31}{2} - 0,06 + 0,074 \right) - 0,074 = 72,86^0_{-0,074}$$

$$RAD = \left(JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA = \left(30 - \frac{0,25}{2} - 0,06 + 0,06 \right) - 0,06 = 29,88^0_{-0,06}$$

4.11. Pevnostní výpočty

Kontrola střížníku na otlačení

$$\sigma_{dov} = \frac{F}{S} \quad [\text{MPa}] \quad (33)$$

kde F je střížná síla působící na střížník, z kap. 4.8. $F = F_1 = 7351 \text{ N}$

S plocha průřezu činné části střížníku

σ_{dov} dovolené namáhání tlakem s ohledem na bezpečnost, pro ocel 19 436 je

$\sigma_{dov} = 2490 - 2610 \text{ MPa}$

pro střížník průměru 5mm bude:

$$\sigma_{dov} = \frac{F}{S} = \frac{4 \cdot 7351}{\pi \cdot 5^2} = 374 \text{ MPa}$$

Jelikož je namáhání na dosedací ploše střížníku v upínací hlavici větší než 180MPa u oceli, je nutno v upínací hlavici opěrnou kalenou desku, aby nedošlo k omačkání. Střížník vyhovuje i dovolenému namáhání tlakem pro ocel 19436, které je maximálně 2610MPa.

Stanovení kritické délky střížníku

Pro účely konstrukce nástroje bude určena kritická délka střížníku o Φ 5mm. Ostatní střížníky s většími rozměry budou analogicky vyhovovat pevnostním kritériím. Kritickou délku kruhového střížníku, který je veden ve vodící desce vypočítáme dle:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu \cdot t \cdot d \cdot \tau_s}} \quad [\text{mm}] \quad (34)$$

Kde I – moment setrvačnosti kruhového průřezu [mm^4]

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 5^4}{64} = 30,68 \text{ mm}^4$$

E – modul pružnosti v tahu – oceli $2,1 \cdot 10^5$ MPa

μ – součinitel bezpečnosti – (1,5-2)

d – průměr střížníku [mm]

t – tloušťka materiálu

τ_s – střížný odpor materiálu [MPa] $0,9 \cdot R_m = 0,9 \cdot 400 = 360$ MPa

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 30,68}{1,7 \cdot 1,5 \cdot 360}} = 288 \text{ mm}$$

Potřebná délka střížníku je 41mm. Vzhledem ke kritické délce 288mm, střížník na vzpěr plně pevnostně vyhovuje.

5. NÁVRH STROJE

Podle vypočtené střížné síly byl zvolen výstředníkový lis LEN 25 – C s následujícími parametry:

Základní technické údaje lisu LEN 25-C		
Jmenovitá síla	kN	250
Sevření	mm	265
Zdvih beranu	mm	8-85
Počet zdvihů při trvalém chodu	1/min	75
Přestavitelnost beranu	mm	55
Upínací plocha stolu	mm	560x450
Plocha beranu	mm	220x355
Tloušťka upínací desky	mm	65
Výkon elektromotoru	kW	2,2
Rozměry stroje šxdxv	mm	1145x1365x2145
Hmotnost	kg	2500

Tab. 7 Technické údaje lisu

6. POPIS A FUNKCE NÁSTROJE

Jako optimální technologie pro výrobu součásti „díl autíčka“ je navrženo stříhání v postupovém nástroji. Jedná se o nástroj jednořadý pracující ve dvou krocích, délka kroku je 31,2mm. Vstupní materiál má šířku 78,5 mm a je veden vodícími lištami, které mají vzdálenost 78,7mm.

Nástroj byl navržen podle normy ČSN 22 XXXX. Masivní konstrukce nástroje odpovídá hromadnému charakteru výroby, kde je kladen důraz na delší životnost. Vodící stojánek má dva vodící sloupky, které zajišťují dostatečně přesné vedení upínací hlavice. Horní část nástroje je upnuta přes vodící stopku v beranu lisu. Střížnice je celistvá s fazetou a následným odlehčením. K základové desce je upevněna dle normy ČSN 22 6276.

Pás plechu je veden k nosu krokového nože. V prvním kroku jsou vystřiženy 3 kruhové otvory, tvarový obloukový otvor. Zároveň je odstřižen pružek plechu o délce kroku, který vytvoří osazení, které se v dalším kroku dorazí k nosu krokového nože. Ve druhém kroku dojde zahledání dvou již vystřižených kruhových otvorů a vystřižení obvodu součásti.

Po ukončení operací na stříhadle pokračuje výroby součásti dalšími operacemi jako jsou: omílání, čištění (odmašťování), povrchová úprava adt.

7. TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

7.1 Technické zhodnocení

Stříháním lze stříhat součástky v tolerancích- nižší přesnost :IT 14, IT 15, IT 16 střední přesnost :IT 11, IT 12, zvýšená přesnost :IT 6, IT 7, IT 8, IT 9. Podle vypočtené střížné síly byl zvolen výstředníkový lis LEN 25-C, který vyhovuje vystřižení součástky z plechu tloušťky 1 mm.

Součást je vystřihována z plechu, materiál 11 320. Ocel má mez pevnosti $R_m=400$ MPa , tažnost 30%, množství uhlíku max. 0,11%. Ocel je vhodná pro stříhání. Na základě těchto informací lze konstatovat, že součást lze vyrábět technologií stříhání bez použití dalších dokončovacích operací.

Použitý materiál je přístřih plechu o šířce 78,5 mm a tloušťce 1 mm. Zvolený stroj vyhovuje požadavkům na výrobu zadané součásti.

7.2 Ekonomické zhodnocení

V této kapitole je provedeno ekonomické zhodnocení výroby nové součásti.

7.2.1. Vstupní hodnoty

Životnost nástroje	$T_s = 2$ roky
Vyráběné množství	$Q = 100000$ ks/rok
Dílenské režie:	
jednicové mzdy	JM = 100%
výrobní režie	VR = 390%
správní režie	SR = 130%
ostatní přímé náklady	OPN = 20%

Zpracovatelská režie:

$$ZR = JM + VR + SR + OPN \quad (35)$$

$$ZR = 100 + 390 + 130 + 20$$

$$ZR = 640\%$$

Pracovní třídy na výrobu nářadí:

$$TKK 7 = 70 \text{ Kč/ hod}$$

7.2.2. Náklady na materiál

Materiál 11 320.11

$$1 \text{ kg materiálu v tabuli} = 34,90 \text{ Kč}$$

$$1 \text{ kg odpadu} = 4,00 \text{ Kč}$$

Výpočet hmotnosti plechu spotřebovaného za rok:

Hmotnost tabule ocel. plechu:

$$m = d \cdot \text{š} \cdot t \cdot 7800 \text{ [kg]} \quad (36)$$

$$m = 2000 \cdot 1000 \cdot 0,001 \cdot 7800 = \underline{15,6 \text{ kg}}$$

Hmotnost tabulí ocel. Plechu spotřebovaného za rok

$$m_{c1} = m \cdot \text{počet tabulí za rok} = 15,6 \cdot 125 = \underline{1950 \text{ kg}} \quad (37)$$

Cena plechu spotřebovaného za rok

$$C_{p11} = m_{c1} \cdot \text{cena za jeden kilogram} = 1950 \cdot 34,9 = \underline{68055 \text{ Kč}} \quad (38)$$

Výpočet hmotnosti odpadu

$$m_o = m_c \cdot (1 - V_{už}) = 1950 \cdot 0,2365 = \underline{461,2 \text{ kg}} \quad (39)$$

Výpočet ceny odpadu

$$C_{od} = m_o \cdot \text{cena jednoho kilogramu odpadu} = 461,2 \cdot 4,0 = \underline{1844,8 \text{ Kč}} \quad (40)$$

Náklady na materiál za jeden rok

$$N_{mat} = C_{p11} - C_{od} = 68055 - 1844,8 = \underline{66210,2 \text{ Kč}} \quad (41)$$

7.2.3. Náklady na nástroje

1. operace: postupové stříhadlo 75 Nh

$$75 \cdot 70 = 4500 \text{ Kč}$$

Jednicové mzdy:

$$JM = 5250 \text{ Kč}$$

Zpracovatelské náklady:

$$ZN = JM \cdot ZR$$

$$ZN = 5250 \cdot 640 \% \quad (42)$$

$$ZN = 33600 \text{ Kč}$$

Zisk nářad'ovny činí 15 % ZN:

$$Z_s = 15\% \cdot ZN \quad (43)$$

$$Z_s = 15\% \cdot 33600$$

$$Z_s = 5040 \text{ Kč}$$

Cena materiálu na nástroje je 1316 Kč.

Cena nástroj:

$$N = ZN + Z_s + \text{materiál} \quad (44)$$

$$N = 33600 + 5040 + 1316$$

$$N = 39956 \text{ Kč}$$

7.2.4. Náklady na přímé mzdy

$$N_{mr} = M \cdot Q \cdot (VR + SR)$$

$$N_{mr} = 0,03125 \cdot 100000 \cdot (3,9 + 1,3)$$

$$N_{mr} = 16250 \text{ Kč}$$

7.2.5. Náklady na výrobu jednoho kusu po dobu životnosti nástroje

$$N_{KS} = \frac{T_s \cdot N_{mr} + N}{Q \cdot T_s} + N_{KSmat}$$

$$N_{KS} = \frac{2 \cdot 16250 + 39956}{100000 \cdot 2} + 0,49$$

$$N_{KS} = \underline{0,85 \text{ Kč}}$$

7.3. Zhodnocení

Na základě ekonomického rozboru bylo zjištěno, že cena jednoho kusu „dílu autíčka“ při vyráběném množství 100 000 ks/rok po dobu životnosti nástroje by byla 0,85 Kč. Tato cena odpovídá průměrné ceně podobných výrobků, které se na trhu vyskytují.

Pro zadanou součást a objem roční výroby pro které je vypracována tato technologie výroby, se neodlišuje od výsledků, kterých se u jiných součástí podobného typu dosahuje.

8. ZÁVĚR

Zadáním bakalářské práce bylo zvolit a zpracovat vhodnou technologii výroby pro požadovanou součást „díl autíčka“. Při navrhování technologie bylo se vycházelo ze současných teoretických poznatků problematiky plošného tváření. Hlavní důraz byl kladen na výpočet tvářecích sil, které slouží jako hlavní parametry pro určení výsledné síly, která je zapotřebí pro určení vhodného tvářecího stroje. Z hlediska technologičnosti konstrukce součásti byly dodržovány zásady tolerancí, drsnosti povrchů, velikosti otvorů a přepážek, zaoblení rohů apod. z důvodu vyrobitelnosti součástí.

Ve vypracovaném projektu jsou posouzeny 3 varianty rozmístění střižníků. Postupové střihadlo využívá normalizovaných komponent. Je řešeno formou vodícího stojánu upnutého na stole výstředníkového lisu LEN 25-C (parametry stroje jsou uvedeny v tab. 7 v kap. 5). Střižnice a střižníky jsou vyrobeny z nástrojové slitinové oceli 19 436.8.

Cena nástroje 39956Kč je srovnatelná s obdobnými střížnými nástroji. Náklady na jeden kus výlisku při životnosti nástroje 2 roky a výrobní dávce 100000ks/rok jsou srovnatelné s podobnými výrobky.

Při takto vysoké dávce lze uvažovat o zařazení mechanizačních a automatizačních prvků pro snížení nákladů na mzdy a režie.